

СОЕДИНЕНИЕ W С ИНТЕРМЕТАЛЛИДОМ NiAl В РЕЖИМЕ СВС

А.С. Щукин^{*}, С.Г. Вадченко, А.Е. Сычѳв

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения Российской академии наук, Черноголовка, Россия

* shchukin@ism.ac.ru

Высокие характеристики жаропрочности сплавов на основе твердых растворов Ni–Al достигаются за сѳт формирования интерметаллической γ' -фазы (Ni₃Al), характеризующейся аномалией температурной зависимости прочности [1]. Термическая и термомеханическая стабильность структуры и свойств таких сплавов может быть увеличена путем дисперсионного упрочнения субмикронными и наноразмерными частицами вторичных фаз (карбидов, нитридов и других соединений) на основе тугоплавких (W, Mo, Ta и другие) и редкоземельных металлов [2, 3].

На границе раздела между NiAl и W в дисперсно-упрочненном композиционном материале NiAl–W, полученном методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), происходит реактивная диффузия с образованием интерметаллидов W₂Ni и WNi [4, 5]. Наличие свободного порового пространства приводит к образованию интерметаллических фаз в виде глобулярных выделений, декорирующих частицы вольфрама.

Создание интерметаллида NiAl методом СВС имеет преимущество перед традиционными металлургическими технологиями, так как не требует длительного внешнего нагрева компонентов до температуры плавления NiAl ($T_{пл.}=1676$ °С). Поэтому представляет интерес изучение процессов, происходящих при создании покрытий и наплавов на основе интерметаллида NiAl на поверхности W изделий в процессе СВС.

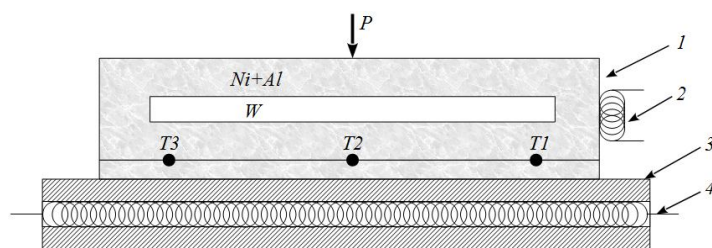
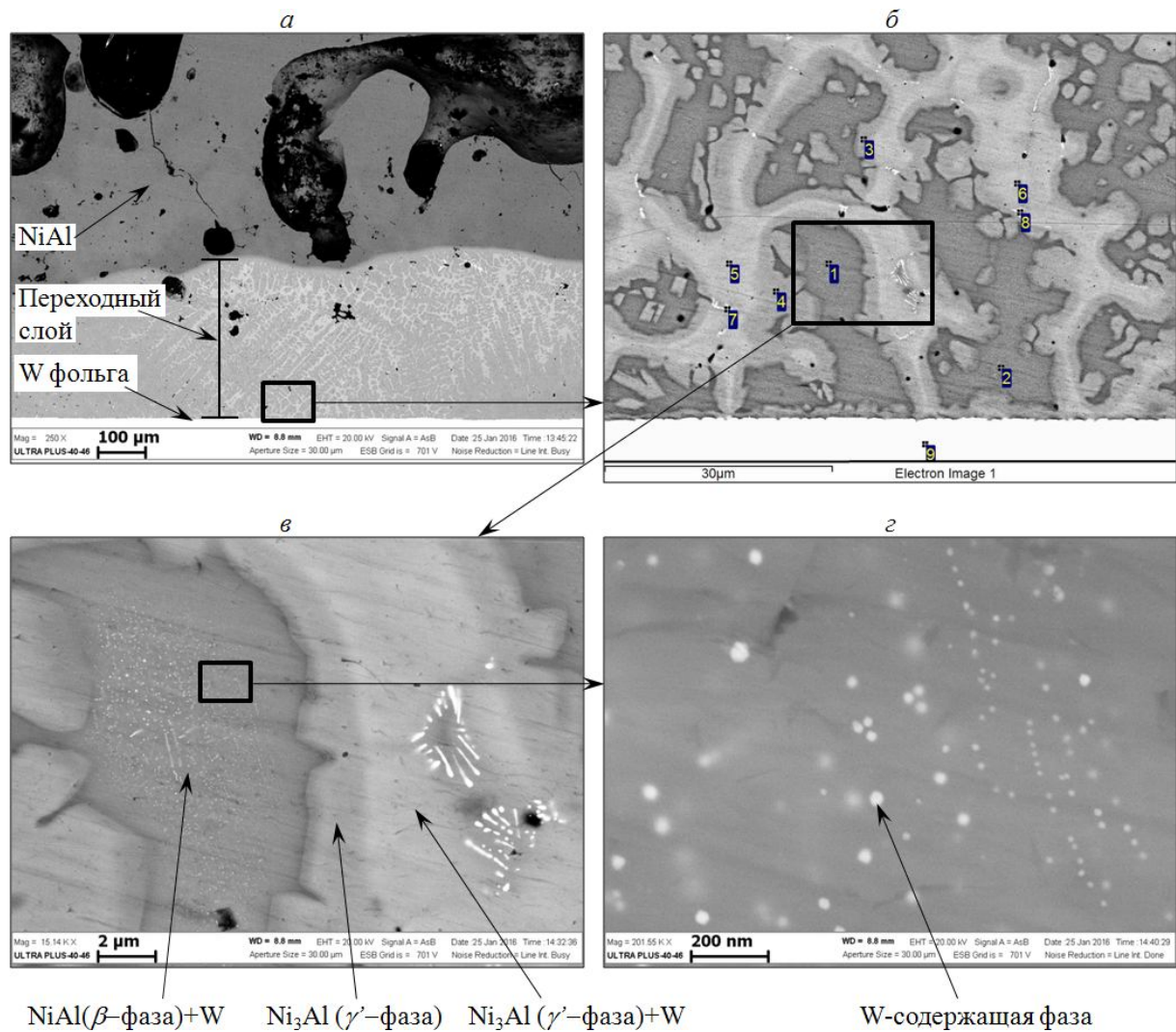


Рис. 1. Схема эксперимента. 1 — таблетка из Ni+Al с запрессованной W фольгой; 2 — поджигающая спираль; 3 — графитовая подложка; 4 — нагревающая спираль; T1, T2, T3 — термопары; P — нагрузка.

Для проведения модельных экспериментов по созданию соединения между W и сплавом на основе Ni–Al использовали вольфрамовую фольгу толщиной 200 мкм. W фольгу запрессовывали в смесь порошков Ni+Al в виде прямоугольной таблетки

размером 30×13 мм и массой 5 г (рис. 1).



Точки	Al	Ni	W
1	35,6	63,5	0,9
2	35,5	63,4	1,1
3	25,9	71,8	2,2
4	25,3	72,5	2,3
5	23,6	73,2	3,3
6	22,0	74,5	3,5
7	21,6	64,9	13,6
8	21,5	67,9	10,6
9	4,7	3,8	91,4

Рис. 2. Микроструктура сварного соединения с образованием эвтектики внутри дендритов β-фазы в переходной зоне между W и NiAl и результаты энергодисперсионного анализа для фотографии (Рис. 2б), ат. %.

Для увеличения времени существования жидкой фазы, образующейся в процессе СВС-реакции, при помощи нагревательного столика производили предварительный нагрев исходного образца до температуры $510 \pm 10^\circ\text{C}$ с последующим инициированием СВС-

реакции при помощи электрической спирали. Эксперименты проводили в среде Ar при давлении 1 атм с приложением к образцам нагрузки равной 265 г. Скорость горения образцов, определённая по результатам термопарных измерений, составила 22÷23 см/с.

В результате СВС-реакции сформировалось сварное соединение W-фольги и NiAl с образованием градиентной переходной зоны толщиной 200÷400 мкм (рис. 2а). Микроструктура переходной зоны имеет дендритное строение, характерное для сплавов на основе NiAl (рис. 2б) [6, 7]. Можно предположить, что после прохождения волны СВС-реакции, в образовавшемся расплаве сначала происходит кристаллизация W (α -фаза) на поверхности W-фольги в виде дендритов (рис. 3). Образовавшиеся на поверхности W-фольги глобулярные выделения являются зародышами кристаллизующейся α -фазы. После чего происходит образование дендритов NiAl (β -фазы) (точки 1, 2 на рис. 2б) и кристаллизация Ni₃Al (γ' -фазы) (точки 3, 4 на рис. 2б) в междендритных областях. В дендритах NiAl (β -фаза) выделяется эвтектика на основе W с толщиной волокон менее 50 нм (рис. 2в, 2г).

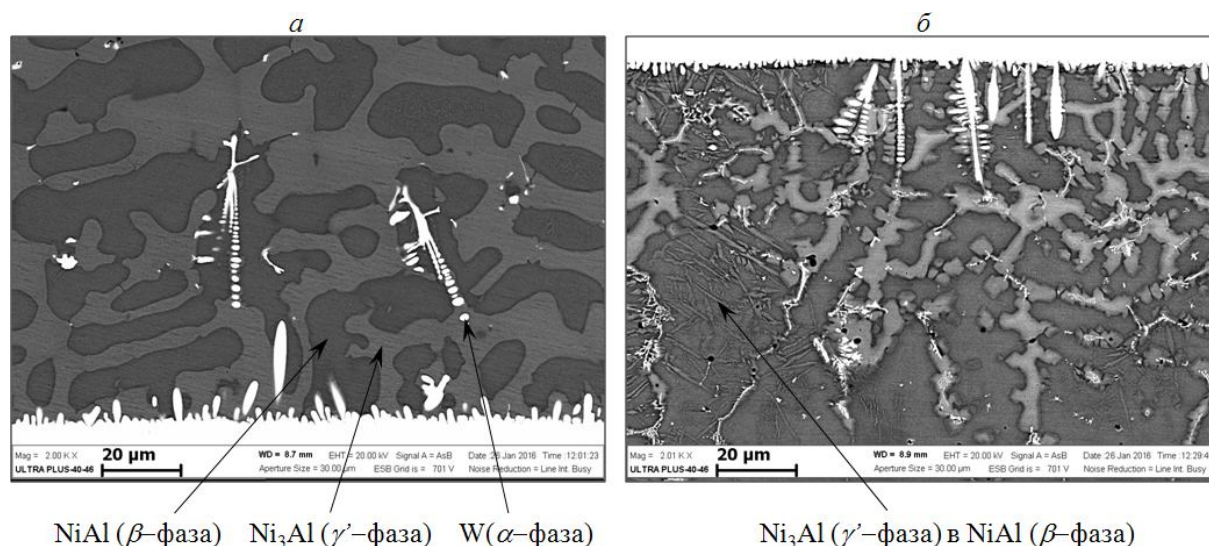
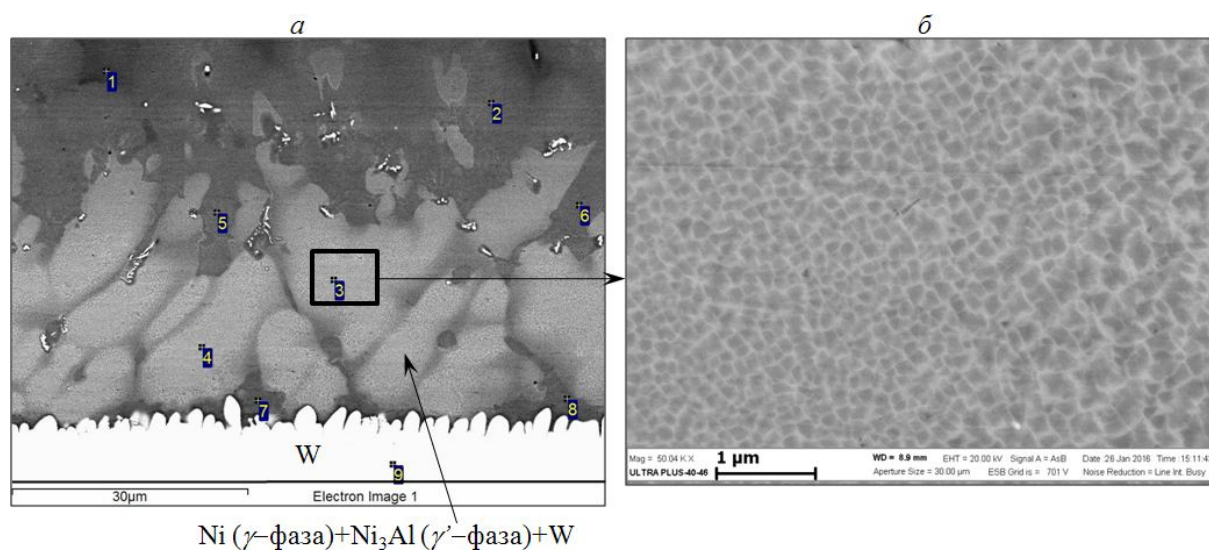


Рис. 3. Кристаллизация W (α -фазы) в виде дендритов из расплава в приповерхностном слое и игольчатые выделения Ni₃Al (γ' -фазы) в дендритном зерне NiAl (β -фазы).

Из-за контакта образца с нагретым столиком с одной стороны и с холодным пуансоном с другой стороны, взаимодействие между W фольгой и расплавом происходило при неоднородных теплофизических условиях. В результате этого переходный слой имеет переменный состав по содержанию α , β и γ' -фаз. Другой тип переходного слоя представлен на рис. 4. Его главным отличием является избыточное содержание W и Ni (γ -фаза). В результате рекристаллизации β -фазы происходит образование тройной эвтектики $\alpha+\beta+\gamma'$ (точки 3, 4 на рис. 4а), имеющей сетчатую

структуру (рис. 4б).



Точки	Al	Ni	W
1	23,0	73,7	3,3
2	21,3	74,1	4,7
3	14,4	76,6	9,0
4	13,9	76,9	9,2
5	19,9	74,6	5,5
6	20,7	74,2	5,1
7	21,3	74,2	4,4
8	20,8	74,9	4,3
9	4,6	2,1	93,4

Рис. 4. Микроструктура сварного соединения между W и NiAl с образованием тройной эвтектики и результаты зерно-дисперсионного анализа для фотографии (Рис. 4а), ат. %.

В данной работе показана принципиальная возможность создания сварного соединения между W фольгой и NiAl в процессе СВС, не требующего высоких энергозатрат.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-38-00246 мол_а).

Литература

- [1] Н.М. Матвеева, Э.В. Козлов, Упорядоченные фазы в металлических системах, Наука, Москва, 1989, стр. 247.
- [2] Ю.Р. Колобов, Диффузионно-контролируемые процессы на границах зерен и пластичность металлических поликристаллов. Наука, Новосибирск, 1998, стр.184.
- [3] Ю.Р. Колобов, Е.Н. Каблов, Э.В. Козлов и др., Структура и свойства интерметаллидных материалов с нанофазным упрочнением, Москва, Изд-во «МИСиС»,

2008, стр. 328.

[4] A.E. Sytshev, D. Vrel, Yu.R. Kolobov, D.Yu. Kovalev, E.V. Golosov, A.S. Shchukin, S.G. Vadchenko, *Int. Jour. of SHS*, 22, 2, (2013) 110-113.

[5] А.Е. Сычев, Д. Vrel, Ю.Р. Колобов, И.Д. Ковалев, Е.В. Голосов, А.С. Щукин, С.Г. Вадченко, *Композиты и наноструктуры*, 5, 2, (2013) 51-58.

[6] М.Б. Новикова, П.Б. Будберг, *Металлы*, 4, (1986) 104-108.

[7] О.А. Базылева, Е.Ю. Туренко, А.В. Шестаков, *Труды ВИАМ*, 201, 9.